

Самонастраивающийся нечеткий ПИД-регулятор четырёхмеханового преобразователя Колесная всенаправленная мобильная платформа

Ehsan Malayjerdi
Master of Science in Artificial
Intelligence
Islamic Azad University, Mashhad
Branch
Mashhad, Iran
Email: malayjerdi@gmail.com

Hadi Kalani
Assistant Professor
Department of Mechanical
Engineering
Sadjad University of Technology
Mashhad, Iran
Email: kalani@sadjad.ac.ir

Mohsen Malayjerdi
Master of Science in Mechanical
Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran
Email: mohsen.ciw@gmail.com

Аннотация – В данной статье мы ограничимся самонастройкой управления четырехколесным мобильным роботом Mecanum и представим подробные кинематики и архитектуры контроллера робота. Поскольку колеса Mecanum работают на основе проскальзывания, поэтому колеса платформы могут скользить из-за различных условий пола. Во время такого скольжения, колесный робот Mecanum движется по неожиданному пути. Чтобы уменьшить эту ошибку, используются четыре инкрементных энкодера. Затем описывается нечеткий ПИД-регулятор. Это может быть легко реализовано в микроконтроллере. Достоинство регулятора исследуется экспериментально. Полученные результаты показывают, что самонастраивающийся нечеткий ПИД-регулятор и датчики энкодера предоставляют разумную структуру для колесного робота Mecanum.

Ключевые слова: нечеткий логический контроллер, самонастраивающийся контроллер, Колесный робот Mecanum.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время всенаправленные мобильные роботы разработаны для исследовательских целей и сыграли главную роль как в науке так и в промышленности [1 и 2]. По сравнению со многими видами всенаправленных колес, колеса Mecanum показали большую эффективность при вождении транспортных средств, для достижения всестороннего направления. Эти колеса используются в сервисном роботе таких как интеллектуальные инвалидные коляски, роботы для ухода за больными и мобильные манипуляторы [3-6]. Несмотря на такое преимущество, как свойство всенаправленного движения, колесо Mecanum имеет неизбежную вибрацию из-за формы конструкции [7-9]. Эти вибрации могут снизить точность позиционирования. Тем не менее, колеса Mecanum применяют, потому что они требовательны больше за счет своей дополнительной маневренности и экономичности.

Обычно колесо Mecanum состоит из нескольких пассивных роликов, вилки и ступицы или диска. Вал подключен к исполнительному двигателю. Он поддерживает вилки и ролики. Пассивные ролики генерируют движущую силу за счет контакта с землей. Эти характеристики приобретаются за счет повышенной механической сложности (анализ кинематики и динамики) и повышенной сложности управления. Вопросы кинематики и динамика колеса Mecanum изучена в [10-11]. Эти математические модели будут

использоваться для достижения оптимального управление мобильным роботом как сервисным роботом [12]. Когда робот движется, колеса часто буксуют. Во время таких проскальзываний реальное положение и ориентация отклоняются от запланированных. Чтобы преодолеть эту проблему, многие исследователи пытаются обнаружить проскальзывание и контролировать положение робота [13-16]. Фахмизал и др. [13] предложили системы отслеживания траектории и корректировки курса колесного робота Mecanum с использованием контроллера нечеткой логики (FLC) и датчик блока измерения инерции (IMU). Они показали, что система FLC и датчик IMU обеспечивают надежную навигацию схема колесного робота Mecanum. Цай и др. [14] предложил несингулярное управление режимом скольжения терминала с использованием нечетких вейвлет-сетей для отслеживания траектории робота Mecanum колес. Вибунчайчип и др. [15] использовали новую методологию исправление положения для колесного всенаправленного Mecanum транспортных средств. Они использовали формулировку уникального уравнения кинематики, уравнение динамики и уравнение состояния. Чанг и др. [16] вывел нелинейный устойчивый закон адаптивного управления на основе полной динамической модели четырехколесного робота с использованием метода обратного шага с помощью теории устойчивости Ляпунова.

Остальная часть рукописи организована следующим образом. В разделе II, представлен робот SADJAD I и определена его кинематическая модель. Затем самонастраивающееся управление описано в разделе III. В разделе IV представлены несколько экспериментальных результатов, которые показывают эффективность и достоинства предложенных методов. Раздел V завершает документ замечаниями и предложениями для будущих работ.

2. ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНАЯ ВСЕНАПРАВЛЕННАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА

A. Мобильный робот SADJAD I

Мобильный робот SADJAD I, показанный на рис. 1а, представляет собой всенаправленную мобильную платформу первого поколения, разработанную в Исследовательский центр робототехники "САДЖАД". Он состоит из четырех Мекановое колесо. Каждое колесо Mecanum приводится в действие двигателем постоянного тока. Робот в полностью плоской конфигурации имеет ширину 300 мм, высоту 60 мм и длину 500 мм. Общий вес робота, включая все двигатели и все другие компоненты, составляет 4,6 кг. Алгоритмы локомоции реализованы в микроконтроллере STM32F4 discovery. Упомянутые компоненты схематично показаны на рис. 1б.

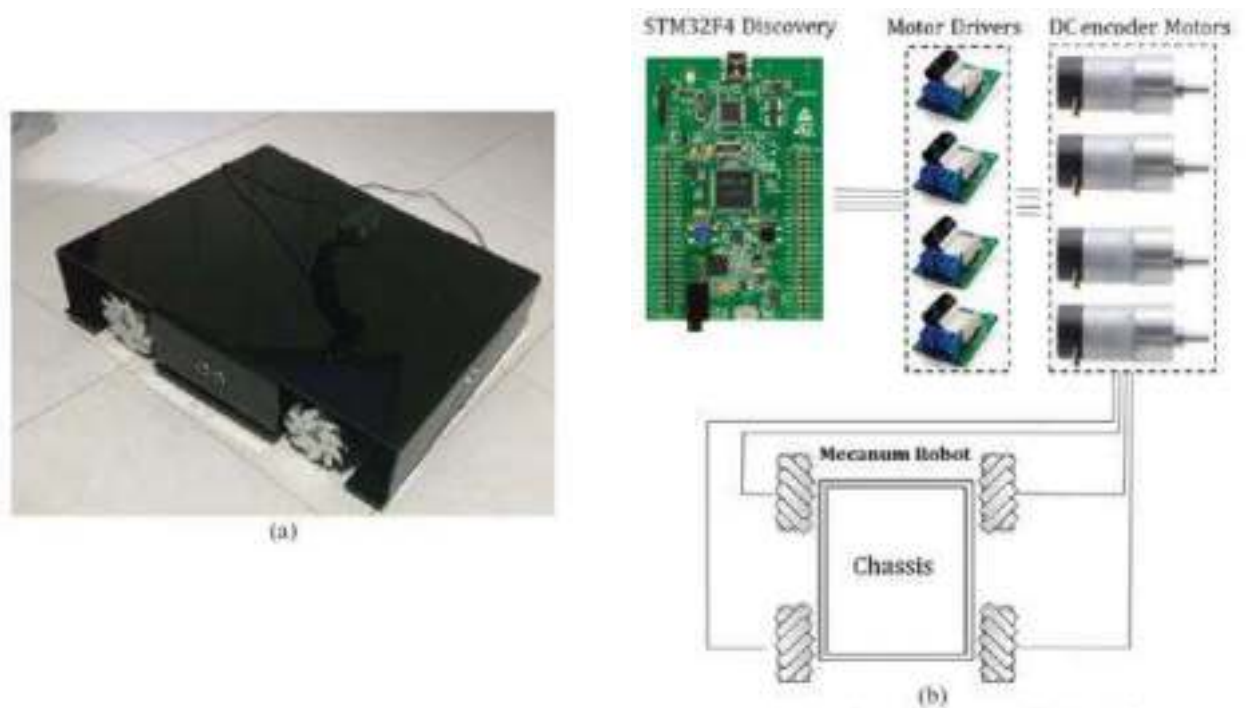


Рис. 1. Робот с меканум колесом. (а) Общий вид сконструированного робота и (б) Детальный вид ключевых компонентов мобильного робота

Б. Кинематика транспортного средства

Всенаправленный мобильный робот, состоящий из четырех колес Mecanum, изображен на фиг. 2. Чтобы определить кинематическую модель робота, мы привязываем систему координат к центру робота. Уравнения обратной кинематики (ИК) используются для получения необходимой угловой скорости каждого двигателя для достижения желаемого движения мобильной платформы Mecanum wheel. Хотя уравнения прямой кинематики (ДК) используются для определения траектории робота на основе заданных скоростей вращения двигателей. То ИК и ДК робота Mecanum получены с помощью уравнения (1). То подробности приведены в [15]. Здесь, для удобства, контакт между колесом и опорной плоскостью характеризуется условием, что колесо катится без скольжения.

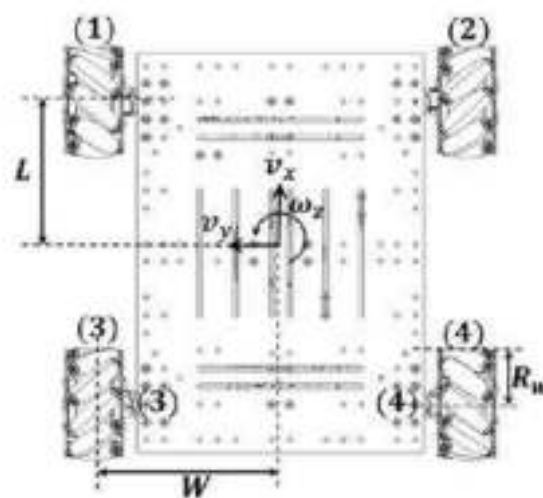


Рис. 2. Кинематика мобильного робота

$$\begin{aligned}
 v_x &= \frac{R_w}{4} (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \\
 v_y &= \frac{R_w}{4} (-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_4) \\
 \omega_z &= \frac{R_w}{4(L+W)} (-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

or

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R_w} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L+W) \\ 1 & -1 & (L+W) \\ 1 & -1 & -(L+W) \\ 1 & 1 & (L+W) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

Где R_w — радиус колеса Меканума, а $\dot{\theta}_i$ ($i = 1,2,\dots,4$) - угловая скорость колеса. Кроме того, L и W являются расстояниями между осью колеса и центром тела робота. Смотрите рис. 2. Значения V_x , V_y и ω_z указывают обобщенную скорость центральной точки робота. Номер каждого колеса указан в круглых скобках.

3. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А. Общая архитектура системы

На рис. 3 показана предлагаемая структура самонастраивающегося нечеткий ПИД-регулятор. Ошибка обратной связи $e(t)$ и производная ошибки $de(t)/dt$ являются двумя входными данными для нечеткого логического вывода двигателя. Основные три коэффициента ПИД (K_p , K_i и K_d) корректируется с помощью нечеткой карты, которая обеспечивает нелинейное отображение ошибки и производной ошибки в ПИД параметры.

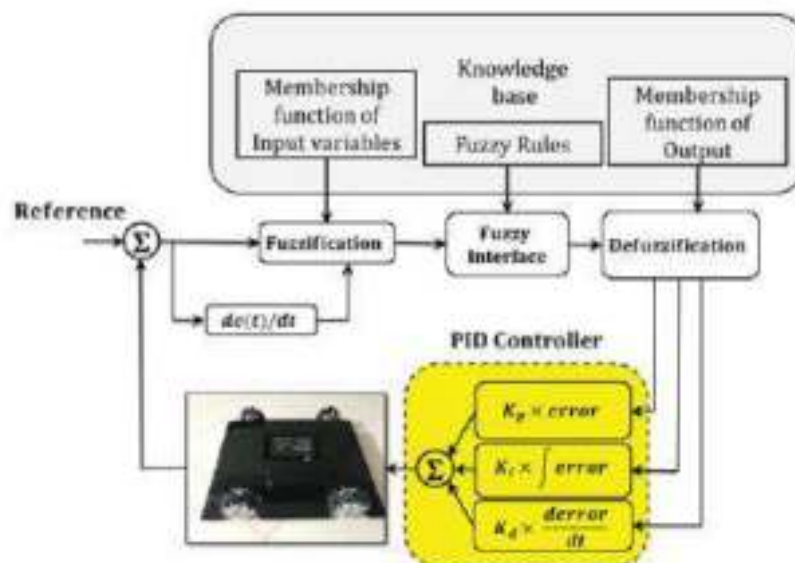


Рис. 3. Структурная схема схемы нечеткого ПИД-регулирования

Б. Самонастраивающийся нечеткий ПИД-регулятор

Нечеткое ПИД-управление — это разновидность нелинейного управления, преимущества как нечеткого управления, так и ПИД-управления. В этой статье коэффициенты ПИД корректируются с помощью нечеткой логики.

По сути, нечеткие правила играют ключевую роль в нечетком управлении из-за прямым эффектов для нечетких выводов. Вот эти правила разработаны на основе характеристик колеса Месапум и свойства ПИД-регулятора. Диапазоны K_p и K_d описаны в $[K_{pmin}, K_{pmax}]$ и $[K_{dmin}, K_{dmax}]$, соответственно. Эти диапазоны определяются экспериментально с методом проб и ошибок. Параметры K_p и K_d нормированы в диапазоне от нуля до единицы следующим образом

$$\begin{aligned} K_p' &= (K_p - K_{p,min}) / (K_{p,max} - K_{p,min}) \\ K_d' &= (K_d - K_{d,min}) / (K_{d,max} - K_{d,min}) \end{aligned} \quad (2)$$

Интегральная постоянная усиления определяется выражением

$$K_i = K_p'^2 / (\alpha K_d') \quad (3)$$

В этом исследовании мы принимаем $\alpha = 1$. Параметры K_p' и K_d' определяются как набор нечетких правил вида

$$\begin{aligned} \text{if } e(k) \text{ is } A_i \text{ and } de(k)/dt \text{ is } B_i, \text{ then } K_p' \text{ is } \\ C_i \text{ and } K_d' \text{ is } D_i, i=1,2,\dots,m. \end{aligned} \quad (4)$$

Где A_i , B_i , C_i и D_i — нечеткие множества. Функции принадлежности (MF) $e(k)$ и $de(k)/dt$ показаны на рис. 4а и 4б соответственно. Здесь N представляет отрицательный, P положительный, ZO приблизительно равен нулю, S маленький, B большой. Таким образом, NS используется для отрицательно-малого, PB для положительного большого и так далее. Нечеткие множества C_i и D_i являются либо большими, либо малыми и обозначаются функциями принадлежности, показанными на рис. 5.

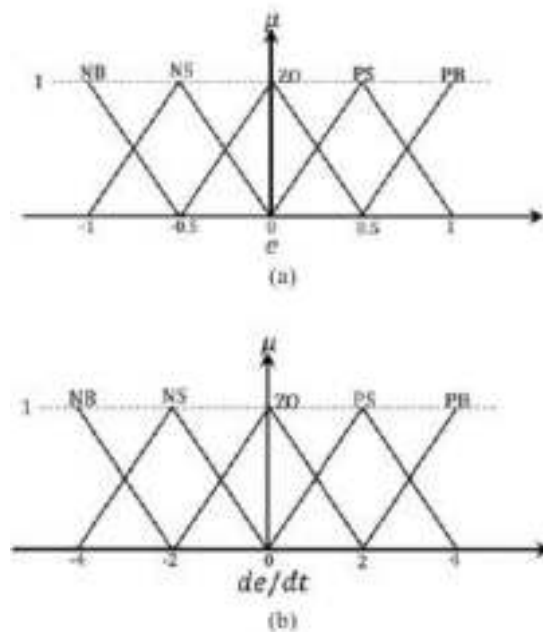


Рис. 4. Функции принадлежности для (а) $e(k)$ и (б) $de(k)/dt$

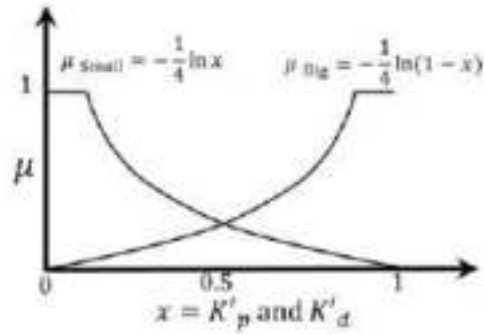


Рис.5. Функции принадлежности для K_p' и k_d' [17]

Для достижения эталонной траектории в таблице I и таблице II определены в общей сложности двадцать пять правил для K_p' и K_d' соответственно. Эти правила устанавливают связь между ошибкой и выводом ошибки в терминах лингвистических значений. Значение срабатывания i -го правила, μ_i , в уравнении (4), получается произведением значения MF в предшествующей части правила:

$$\mu_i = \mu_{A_i}[e(k)] \cdot \mu_{B_i}[de(k)/dt] \quad (5)$$

где μ_{A_i} и μ_{B_i} – значение МФ нечеткого множества A_i и B_i , для которых заданы значения $e(k)$ и $de(k)/dt$ соответственно. Тогда на основе μ_i значения K_p' и K_d' для каждого правила получается из соответствующих им MF. Процесс импликации нечеткого правила описан в [17]. Следующий, дефаззификация дает следующее:

$$K_p' = \sum_{i=1}^n \mu_i K_{pi}' \quad (6)$$

$$K_d' = \sum_{i=1}^n \mu_i K_{di}'$$

Где K_{pi}' и K_{di}' — значения K_p' и K_d' соответствующие μ_i для i -го правила соответственно. Наконец, параметры ПИД, рассчитанные по уравнению (2). Все упомянутые процессы подготовлены в обнаружении STM32. Этот эксперимент применяется к микроконтроллеру с помощью программирования на языке C. В программирование микроконтроллер использовал методологию, которая описан в [18].

Таблица I ТАБЛИЦА НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ K_p'

		e				
		NB	NS	ZO	PS	PB
e	NB	B	B	B	B	B
	NS	S	B	B	B	S
	ZO	S	S	B	S	S
	PS	S	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B

Таблица II ТАБЛИЦА НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ K_d'

		e				
		NB	NS	ZO	PS	PB
e	NB	S	S	S	S	S
	NS	B	B	S	B	B
	ZO	B	B	B	B	B
	PS	B	B	S	B	B
	PB	S	S	S	S	S

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ

В этом разделе представлена способность предлагаемого нечетко-ПИД-регулятора управлять движением робота в соответствии с траекторией на рис.6. Чтобы приблизиться к желаемой скорости, в этом исследовании каждое колесо управляется отдельно на основе самонастраивающегося контроллера. Фактическая ошибка, принимаемая как разница между желаемой угловой скоростью каждого колеса и соответствующей фактической скоростью (уравнение 6), и дельта-ошибка, принимаемая как разница между текущей и предыдущей ошибками, используются в качестве входных данных нечеткой логики.

$$e_i = \dot{\theta}_{i,act} - \dot{\theta}_{i,des}, i = 1, 2, \dots, 4 \quad (6)$$

где i — номер колеса, $\dot{\theta}_{i,act}$ и $\dot{\theta}_{i,des}$ фактическая и желаемая угловая скорость i -го колеса соответственно.

На рисунке 6 показан схематичный путь мобильного робота к месту назначения. Число на каждом рисунке показывает порядок движения. От числа 0 до 1 и от 3 до 4 робот движется навстречу. От числа 1 до 2 и от 6 до 7 он меняет свою ориентацию без переноса. От 2 до 3 и от 4 до 5 робот перемещается по диагонали. Наконец, от 5 до 6 и от 7 до 0, он перемещается в боковом направлении. Желаемая угловая скорость во всем моделировании составляет 2,5 рад/с. Чтобы достичь этой навигации, угловая скорость каждого из колес Mecanum изменилась, как показано на рис. 7. Соответствующий номер каждого колеса указан на рис. 2, в скобках.

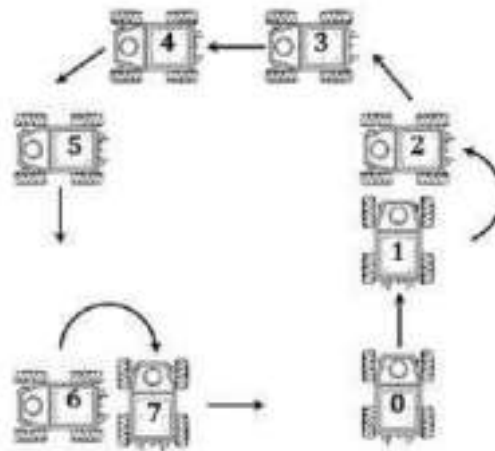


Рис. 6. Схематическая карта для навигации робота

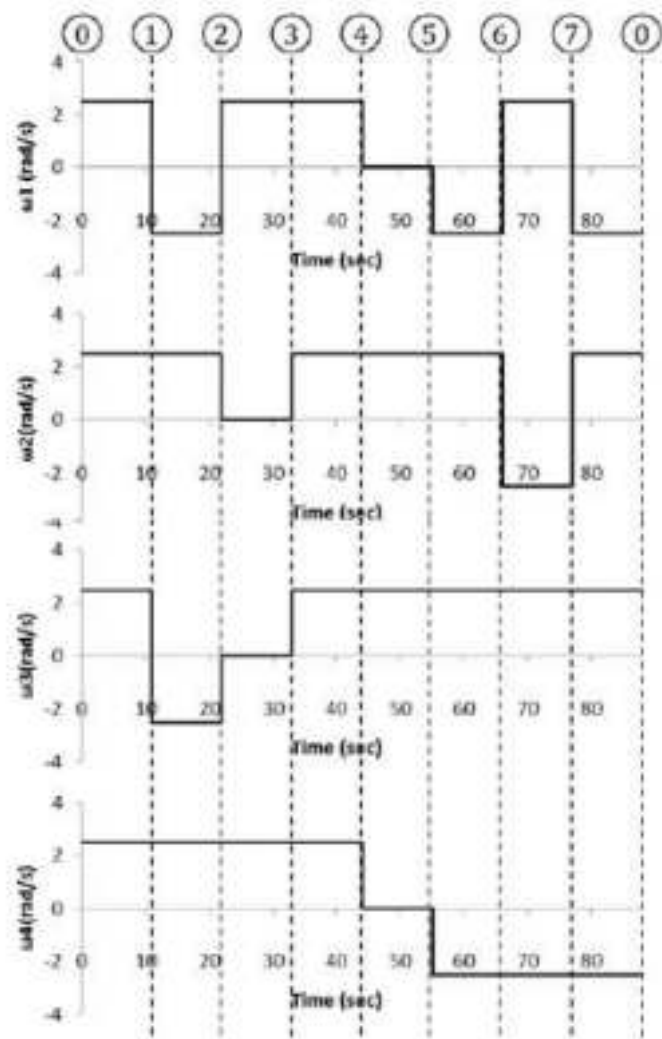


Рис. 7. Угловая скорость каждого колеса. ω_i указывает угловую скорость i -го колеса.

Основываясь на уравнении (1), исходная скорость мобильного робота получена в ходе эксперимента, как показано на рис. 8. На этом рисунке показано, что при использовании единственного ПИД-регулятора в ходе экспериментов возникают значительные погрешности между желаемой и реальной скоростями. Но небольшие ошибки во время движения возникают при использовании нечеткого ПИД. Как и ожидалось, максимальные ошибки возникают при изменении скорости вращения колес. Таким образом, результаты показали, что метод нечеткого ПИД-регулирования является лучшим регулятором, чем обычная методология ПИД для подхода к навигации мобильного робота.

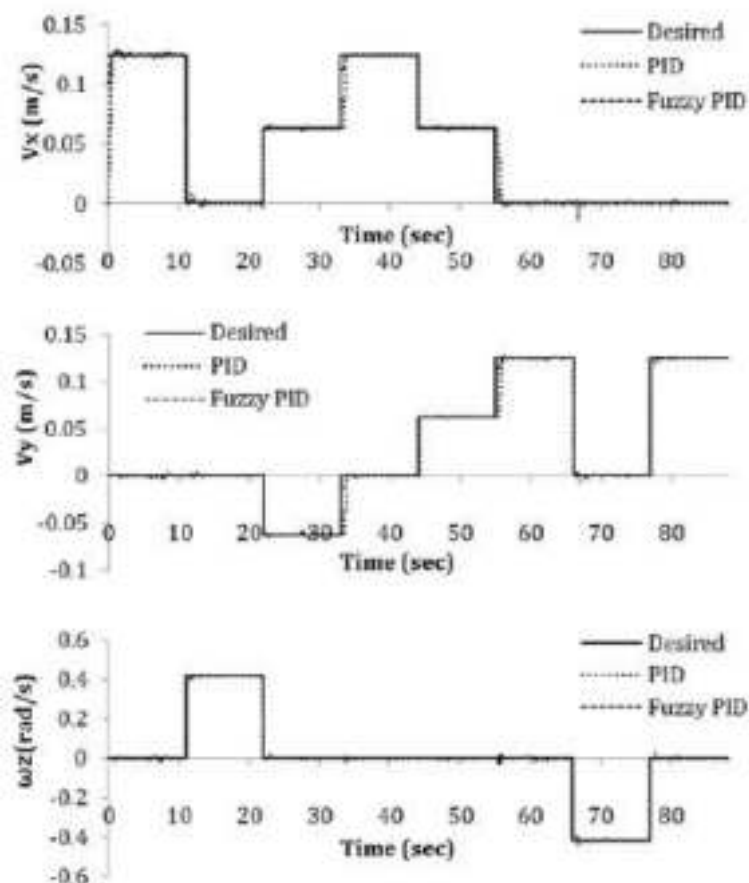


Рис. 8. Линейная и угловая скорости механического колеса

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этом исследовании самонастраивающийся контроллер используется для обеспечения навигации и стабильного движения колесного робота Mecanum. Для этого используется нечеткая пропорциональная интегральная производная (ПИД), коэффициенты усиления ПИД могут быть настроены путем реализации нечетких правил. Предлагаемый контроллер оценивается с использованием карты для навигации робота с колесом Mecanum. Результат показал нечеткое-ПИД-метод способен гарантировать роботу достижение стабилизации и отслеживание траектории. Изучение контроллера для колесных роботов Mecanum важен тем, что его можно использовать во многих области применения, такие как узкие пространства или переполненные помещения, такие как больницы и учреждения по уходу за пожилыми людьми.

Наш основной вклад заключается в исследовании метода нечеткого планирования усиления ПИД-регулятора для колесного робота Mecanum. В будущем мы планируем использовать этого робота в дополненной реальности (ДР) с использованием предлагаемого контроллера. Мы разработаем алгоритм следования по маршруту, который позволит всенаправленному мобильному роботу автономно перемещаться в нужное место по команде пользователя через ДР-интерфейс.

РЕКОМЕНДАЦИИ

- [1] K.S. Byun and J.B. Song, "Design and construction of continuous alternate wheels for an omnidirectional mobile robot," *Journal of Robotic Systems*, vol. 20, no. 9, pp. 569–579, 2003.
- [2] J.B. Song and K.S. Byun, "Design and control of a four-wheeled omnidirectional mobile robot with steerable omnidirectional wheels," *Journal of Robotic Systems*, vol. 21, [3] J. Kim, S. Woo, J. Kim, J. Do, S. Kim, and S. Bae, "Inertial navigation system for an automatic guided vehicle with mecanum wheels," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 13, no. 3, pp. 379–386, 2012.
- [4] J. W. Kang, H. S. Hong, B. S. Kim, and M. J. Chung, "Assistive mobile robot systems helping the disabled workers in a factory environment," *International Journal of Assistive Robotics and Mechatronics*, vol. 9, no. 2, pp. 42–52, 2008.
- [5] J. W. Kang, H. S. Hong, B. S. Kim, and M. J. Chung, "Assistive mobile robot systems helping the disabled workers in a factory environment," *International Journal of Assistive Robotics and Mechatronics*, vol. 9, no. 2, pp. 42–52, 2008.
- [6] M. de Villiers and N. S. Tlale, "Development of a Control Model for a Four Wheel Mecanum Vehicle," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 134, 2010,
- [7] R. Holmberg and O. Khatib, "Development and control of a holonomic mobile robot for mobile manipulation tasks," *International Journal of Robotics Research*, vol. 19, no. 11, pp. 1066–1074, 2000.
- [8] A. Gferrer, "Geometry and kinematics of the mecanum wheel," *Computer Aided Geometric Design*, vol. 25, no. 9, pp. 784–791, 2008.
- [9] L. Ferrigno, B. Raucant, and G. Campion, "Design of omnimobile robot wheels," in *Proceedings of the IEEE International Conference Proceedings on Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 3664–3670, Minneapolis, Minn, USA, April 1996.
- [10] C.C.Tsai, F. C.Tai, Y. R. Lee, "Motion controller design and embedded realization for mecanum wheeled omnidirectional robots," In *Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation* (pp. 546–551). Taipei, Taiwan, 2011.
- [11] G. Wampfer, M. Salecker, J. Wittenburg, "Kinematics, dynamics, and control of omnidirectional vehicles with mecanum wheels," *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 17(2), pp. 165–177, 1989.
- [12] N. Tlale, M. de Villiers, "Kinematics and Dynamics Modelling of a Mecanum Wheeled Mobile Platform," *Mechatronics and Machine Vision in Practice 2008. M2VIP 2008. 15th International Conference on*, pp. 657- 662, 2–4 Dec. 2008.
- [13] Fahmizal, C. H. Kuo, "Trajectory and heading tracking of a mecanum wheeled robot using fuzzy logic control," *International Conference on Instrumentation Control and Automation (ICA)*, pp. 54-59, 2016 no. 4, pp. 193–208, 2004.
- [14] C. C. Tsai, and H.-L. Wu, "Nonsingular Terminal Sliding Control Using Fuzzy Wavelet Networks for Mecanum Wheeled Omni-directional Vehicles," *Proc. of the 2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Barcelona, Spain, 18-23 July 2010.
- [15] P. Viboonchaicheep, A. Shimada, Y. Kosaka, "Position Rectification Control for Mecanum Wheeled Omni-directional Vehicles," *Proceedings the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Roanoke, VA, USA, pp. 854-859, 2003.
- [16] L. Lih-Chang and S. Hao-Yin, "Modeling and adaptive control of an omnimecanum-wheeled robot," *Intelligent Control and Automation*, vol.4, no.2, p.166-179, 2013.
- [17] Z. Y. Zhao, M. Tomizuka, S. Isaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 23, pp. 1392-1398, Sept. 1993.

[18] Indra Sakti, "Methodology of Fuzzy Logic with Mamdani Fuzzy Models applied to the microcontroller," International Conference on Information Technology Computer and Electrical Engineering (ICIT ACEE), 2014.